ÜBER DIE WÄRMELEITUNG VON SAUERSTOFF, STICKSTOFF UND WASSERSTOFF.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

DER

VEREINIGTEN FRIEDRICHS-UNIVERSITÄT

HALLE-WITTENBERG

AGAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

VORGELEGT VON

PAUL GÜNTHER

AUS HALLE a. S.

HALLE a. S.
BUCHDRUCKEREI VON MARTIN KANDLER
1906.

Referent: **Prof. Dr. Dorn.**

Meiner lieben Mutter

und

dem Andenken meines Vaters.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546024_0146

I. Einleitung.

Die kinetische Gastheorie liefert zwischen dem Wärmeleitungskoeffizienten k eines Gases, seinem Reibungskoeffizienten η und seiner spezifischen Wärme c_v bei konstantem Volumen eine Beziehung, die durch die Gleichung

$$k = f \cdot \eta \cdot c_v$$

ausgedrückt wird. Hierin bedeutet der Faktor f eine Grösse, die nach den verschiedenen Theorien entweder für alle Gase den gleichen Wert besitzt oder aber von der Natur des Gases abhängt, je nach den Voraussetzungen, die über die Beteiligung der intramolekularen Energie an dem Vorgange der Wärmeleitung gemacht werden. In der Hauptsache sind es zwei Theorien, die sich gegenüberstehen und die auf zwei möglichen Grenzfällen fussen. Während nämlich die eine von ihnen annimmt, dass die intramolekulare Energie an der Wärmeleitung keinen Anteil habe, sondern die letztere lediglich von der Energie der fortschreitenden Bewegung der Moleküle abhänge, liegt der anderen die Annahme zugrunde, dass die intramolekulare Energie ebenso schnell fortgeleitet werde wie die fortschreitende. Die erstere Theorie ergibt einen Wert von f, der für verschiedene Gase verschieden ausfällt; und zwar ist nach der von Boltzmann[1]) auf Grund der Maxwellschen Hypothese durchgeführten Berechnung

$$f = \frac{15}{4}(\Gamma - 1),$$

worin Γ das Verhältnis $\frac{c_p}{c_v}$ der beiden spezifischen Wärmen

1) Pogg. Ann. 1876. Bd. 157. S. 457.

des Gases bedeutet. Die andere Theorie liefert einen für alle Gase gleichen Wert von f. Boltzmann[1]) findet denselben unter Benutzung der Maxwellschen Hypothese gleich $^5/_2$ oder 2,5, während O. E. Meyer den von Conrau und Neugebauer unter Zugrundelegung der Clausiusschen Hypothese berechneten Wert 1,6027 [2]) angibt.

Dass die Theorie, nach welcher die intramolekulare Energie ebenso schnell fortgeleitet werden soll als die fortschreitende und nach der der Faktor f einen für alle Gase konstanten Wert haben soll, nicht den Tatsachen entspricht, erscheint nach den bisherigen Beobachtungen, die über die Wärmeleitung der Gase angestellt worden sind, hinreichend klar erwiesen. Von einer Konstanz von f für die verschiedenen Gase kann nicht die Rede sein. Dagegen scheint die andere Theorie, die die Wärmeleitung in der Uebertragung von nur progressiver Energie bestehen lässt, den Tatsachen näher zu kommen. Untersuchungen über die Wärmeleitung der einatomigen Gase Argon und Helium, die von Schwarze[3]) im hiesigen Institut ausgeführt worden sind, ergeben den Wert $f = 2{,}5$ für diese Gase, was genau zu der obigen Formel stimmt, da für einatomige Gase $\Gamma = {}^5/_3$ ist. Auch scheint im allgemeinen f um so kleinere Werte anzunehmen, je mehr Atome das Gas in der Molekel enthält, entsprechend der Abnahme von Γ mit wachsender Atomzahl. So ergeben sich aus den Beobachtungen von Schleiermacher[4]) und Ziegler[5]) die Werte von f für Luft, Wasserstoff (H_2), Kohlensäure (CO_2) und Methan (CH_4) der Reihe nach gleich: 1,98, 1,94, 1,59 und 1,59, (f für Aethan[5]) ($C_2 H_6$) 1,95 zeigt allerdings einen beträchtlich höheren Wert, als zu erwarten

---

1) Pogg. Ann. 1876. Bd. 157, S. 457.

2) O. E. Meyer, Kinet. Theorie d. Gase. 2. Aufl. 1899. Mathem. Zus. S. 128.

3) W. Schwarze, Inaug.-Diss. Halle 1902; u. Beibl. z. d. Ann. d. Phys. 1903. Bd. 27. S. 442.

4) Wied. Ann. 1888. Bd. 34, S. 623.

5) E. Ziegler, Inaug.-Diss. Halle 1904.

wäre). Wenngleich nun aber die Beobachtungen insoweit mit der zuletzt erwähnten Theorie übereinstimmen, dass sie eine Abnahme des Wertes von f mit steigender Atomzahl in der Molekel erkennen lassen, so zeigen doch die aus den Beobachtungen hergeleiteten absoluten Werte dieser Grösse gegenüber den aus der Theorie berechneten erhebliche Unterschiede, die sich kaum aus den zufälligen Beobachtungsfehlern erklären lassen dürften. Denn für Luft und Wasserstoff müsste nach der theoretischen Formel, wenn wir für beide Gase Γ rund gleich 1,4 annehmen, $f = 1{,}5$ sein, während durch die Beobachtungen, wie oben erwähnt, die Werte 1,98 und 1,94 gefunden wurden. Für Kohlensäure ergibt die Formel $f = 1{,}1$, die Beobachtung 1,59.

Es war nun von Interesse, den Wert der Grösse f für die als zweiatomig betrachteten reinen Gase Sauerstoff und Stickstoff, die die Hauptbestandteile der atmosphärischen Luft bilden, gesondert zu bestimmen, und zwar mit demselben Apparate, der so erfolgreich von Dr. Schwarze auf Argon und Helium angewandt worden ist, um so vergleichbares Beobachtungsmaterial zu erhalten. Auf Anregung und mit freundlichst gewährter Unterstützung des Herrn Prof. Dr. Dorn unternahm ich es daher, die Wärmeleitfähigkeit von Sauerstoff und Stickstoff und ferner noch die von Wasserstoff zu ermitteln, da über die beiden ersteren Gase bisher nur die nach der Abkühlungsmethode ausgeführten Beobachtungen Winkelmanns[1]) aus dem Jahre 1875 vorliegen und bei Wasserstoff der von Schleiermacher nach seiner Methode gefundene Wert[2]) für das Wärmeleitungsvermögen dieses Gases von dem von Winkelmann zuletzt gefundenen[3]) immerhin noch um mehr als 7 % abweicht.

1) Pogg. Ann. 1875. Bd. 156, S. 497.
2) Wied. Ann. 1888. Bd. 34, S. 623.
3) Wied. Ann. 1891. Bd. 44, S. 429.

II. Methode und Apparate.

Zu den vorliegenden Untersuchungen wurde die Methode von Schleiermacher [1]) benutzt, die es gestattet, die Wärmeleitfähigkeit eines Gases unabhängig von der spezifischen Wärme des wärmeabgebenden Körpers und ihrer etwaigen Aenderung mit der Temperatur zu bestimmen. Herr Prof. Dr. Dorn hatte die Güte, mir die nötigen Apparate zur Verfügung zu stellen, insbesondere also die beiden unten beschriebenen Glasapparate, die seinerzeit von Schwarze hergestellt worden sind und von denen leider der eine während der Vorversuche mit Luft sich als beschädigt herausstellte, weshalb an seiner Stelle ein neuer möglichst genau nach dem Muster des alten angefertigt werden musste.

Bei der Methode von Schleiermacher [1]) ist in der Achse eines horizontalen Glasrohres, welches das zu untersuchende Gas enthält, ein Platindraht ausgespannt. Während dieser durch einen galvanischen Strom erwärmt wird, hält man die äussere Wand des Glasrohres auf konstanter Temperatur. Nach einiger Zeit tritt dann ein stationärer Zustand ein, indem der Draht ebensoviel Wärme an die Umgebung abgibt, wie in derselben Zeit durch den galvanischen Strom in ihm erzeugt wird. Die im Draht entwickelte Wärmemenge kann man durch Messung der Stromstärke und des Widerstandes nach dem Jouleschen Gesetze berechnen. Die vom Drahte abgegebene Wärme besteht einerseits aus der durch Leitung, andererseits aus der durch Strahlung weggeführten Wärmemenge. Bestimmt man also die letztere durch besondere Strahlungsversuche, so findet man durch Subtraktion dieser Wärmemenge von der im Drahte entwickelten die allein durch Leitung übergeführte Wärmemenge. Hierbei ist vorausgesetzt, dass die Strahlung durch das Gas nicht merklich beeinflusst wird, was bei den ziemlich niedrigen Drucken für die hier untersuchten Gase zutrifft.

---

1) Wied. Ann. 1888. Bd. 34, S. 623.

Ist noch der Temperaturkoeffizient der Widerstandsänderung des Platindrahtes vorher durch besondere Versuche ermittelt worden, so ist mit dem Widerstande des Platindrahtes auch seine Temperatur gegeben und damit die gegenüber der Temperatur der Glaswand eingetretene Temperaturerhöhung. Aus dieser Temperaturerhöhung, der durch Leitung übergeführten Wärmemenge und den Dimensionen des Drahtes und des Glasrohres kann man die Wärmeleitfähigkeit des Gases berechnen.

Da der eine der zur Verwendung gelangten Apparate noch von Schwarze herstammt und der neue, wie schon oben erwähnt, ganz nach dem Muster des alten angefertigt wurde, so sei es mir gestattet, Beschreibung und Figur der Apparate einfach der Arbeit des Herrn Schwarze[1]) zu entnehmen:

„In der Achse eines Glasrohres GG' ist ein dünner Platindraht ausgespannt[2]); an a ist ein dickerer Platindraht, an a' eine Stahl- und darin befindliche Kupferdrahtspirale und an deren Enden ebenfalls ein dickerer Platindraht l'' angelötet. Die Stahlfeder ist leicht gespannt und zieht den Draht aa', wenn er durch den galvanischen Strom erwärmt wird und sich ausdehnt, wieder straff, sodass er immer in der Achse der Röhre bleibt.

Sämtliche Lötungen sind mit Feingold ausgeführt. Die noch dünneren Platindrähte e und e' sind an den Enden vorher galvanisch vergoldet, einmal um den Draht aa' herumgeschlungen und dadurch angelötet, dass man den Draht aa' durch einen starken galvanischen Strom zum Glühen brachte. Hierdurch wird die Lötstelle sehr fein und der Draht aa' am wenigsten beschädigt. e und e' sind an ihren Enden wieder an dickere Platindrähte angelötet.

Die dickeren Platindrähte sind in Glas eingeschmolzen und darüber Röhren angesetzt, die zur Aufnahme von Queck-

1) W. Schwarze, Inaug.-Diss. Halle 1902 S. 6. u. Drud. Ann. 11, 303. 1903.

2) s. diese Arbeit Fig. 1.

silber dienen. Die Röhre p führt zur Luftpumpe. Die beiden verwendeten Apparate wurden von Herrn F. O. R. Götze, Leipzig, hergestellt“

Hierbei sei gleich erwähnt, dass auch die Glasbläserarbeit des neuen Apparates wiederum in der Werkstatt des Herrn Götze ausgeführt wurde.

Wegen der Schwierigkeiten, die diese Arbeit darbietet, gelingt es auch unter sehr günstigen Verhältnissen meist nur in der Hälfte der Fälle, einen wirklich brauchbaren Apparat herzustellen. Von den beiden diesmal fertig gewordenen (Vorbereitungen waren für vier getroffen) wurde derjenige in Benutzung genommen, der den Platindraht des alten Apparates enthielt. Der Radius dieses Drahtes konnte natürlich nicht nochmals bestimmt werden und daher zeigt in der weiter unten[1]) angegebenen Zusammenstellung der Werte der Konstanten nur die Länge des Platindrahtes zwischen den Elektroden einen gegen früher veränderten Wert.

III. Konstanten der Apparate.

Betreffs der Bestimmung der Konstanten des erhalten gebliebenen Apparates I sei auf die Arbeit des Herrn Schwarze[2]) verwiesen. An die dort gemachten Angaben habe ich mich auch bei der Ermittelung der Konstanten des neuen Apparates II eng gehalten; nur der lichte Durchmesser der Glasröhre wurde auf direkterem Wege bestimmt, nämlich vor der Verarbeitung der Glasröhre zum Apparat an der Röhre selbst und nicht an den vorhergehenden und folgenden Stücken der Glasröhre. Die unten zugeschmolzene Röhre wurde mit vorher gereinigtem und getrocknetem Quecksilber gefüllt, an verschiedenen Stellen ein Teil des Quecksilbers vorsichtig abgesaugt und die Höhe des abgesaugten Quecksilbers mit dem Kathetometer gemessen. Aus dieser Höhe

1) S. 11.

2) W. Schwarze, Inaug.-Diss. Halle 1902, S. 7.

und der durch Wägung bestimmten Masse des Quecksilbers, wobei die Aenderung der Dichtigkeit des Quecksilbers mit der Temperatur berücksichtigt wurde, konnte der mittlere Radius der betreffenden Stelle der Glasröhre berechnet werden. Das Doppelte des Mittelwertes der an den verschiedenen Stellen gefundenen Radien wurde als innerer oder lichter Durchmesser der Glasröhre angesetzt. Die Glasdicke wurde durch Subtraktion des lichten Durchmessers von dem an verschiedenen Stellen mit dem Kathetometer gemessenen äusseren Durchmesser und Division mit 2 gefunden.

Im Folgenden sind die Werte der Konstanten der beiden Apparate zusammengestellt, wobei diejenigen für Apparat I der Arbeit von Schwarze[1]) entnommen sind.

	Apparat I	Apparat II
Länge des Platindrahtes . . .	420,2 mm	417,0 mm
zwischen den Elektroden . .	340,23 „	343,65 „
Durchmesser des Drahtes . . .	0,4038 „	0,4014 „
Länge der Elektroden	15,0 „	17,0 „
Durchmesser der Elektroden . .	0,1 „	0,1 „
Lichter Durchmesser der Röhre .	23,710 „	15,653 „
Dicke der Glaswand	0,849 „	0,983 „
Widerstand w_0 bei 0^0	0,47450 Ω	0,48134 Ω

Zu den Werten des Widerstandes w_0 bei 0^0 ist noch zu bemerken, dass sie nur die Bedeutung von Mittelwerten aus den mit Natur- und Kunsteis angestellten Beobachtungen haben, da der grössere Teil der vorliegenden Untersuchungen wegen Mangels an Natureis unter Zuhilfenahme von Kunsteis durchgeführt werden musste und letzteres zumeist eine von 0 verschiedene Temperatur liefert. Die Abweichungen der Werte von w_0 untereinander betrugen im Maximum 0,00012

1) W. Schwarze, Inaug.-Diss. Halle 1902, S. 7.

bei Apparat I und 0,00008 bei Apparat II, was Temperaturdifferenzen von ungefähr $0{,}12^0$ und $0{,}08^0$ entspricht. Ueber die durch diese Verhältnisse bedingten Abänderungen bei der Berechnung der Temperaturerhöhung ist weiter unten noch die Rede [1]).

IV. Versuchsanordnung.

Die beiden Apparate hingen in geringem Abstand und in gleicher Höhe horizontal nebeneinander an Drähten, die an einem von Stativen gehaltenen horizontalen Stabe befestigt waren. Als Unterlage diente ein Tisch, der, um Erschütterungen der Apparate zu vermeiden, auf einer auf das Kellergewölbe des Instituts aufgemauerten Steinplatte stand. Beide Apparate waren gleichzeitig an eine Quecksilberluftpumpe nach Töpler-Hagen angeschlossen; die Verbindung wurde hergestellt durch eine Kundtsche Glasfeder und ein mit Blattsilber und Blattgold gefülltes Glasrohr, das dazu diente, die Quecksilberdämpfe der Luftpumpe von den Apparaten fernzuhalten. Eine zweite Kundtsche Feder und ein U-förmiges Glasrohr, das als Quecksilberabschluss bei den Versuchen angewendet wurde, verbanden die Pumpe mit einem Röhrensystem [2]), durch welches die Gase in die Apparate eingelassen wurden. Diese Anordnung gestattete zunächst, die Wärmeleitungsversuche an beiden Apparaten mit derselben Gasfüllung und bei demselben Druck vorzunehmen und diesen Druck leicht an dem mit der Pumpe verbundenen Manometer abzulesen. Ferner wurde es durch Heben des Quecksilbers in dem U-förmigen Rohr ermöglicht, dass das in die Apparate eingeführte Gas unter Vermeidung von Hähnen nur von Glas und Quecksilber eingeschlossen war, wodurch eine Verunreinigung des Gases während der Versuche ausgeschlossen ist.

Zur Aufnahme des Bades, das während der Beobachtungen die äussere Glaswand der Apparate auf konstanter Temperatur

1) s. diese Arbeit S. 15.

2) Näheres darüber bei der Darstellung der einzelnen Gase.

zu halten hatte, diente ein Kasten aus Weissblech von ungefähr 15 l Inhalt. Das Bad selbst bestand abwechselnd aus kochendem Wasser und schmelzendem Eis; zunächst kam Natureis zur Verwendung, später, als solches nicht mehr zu beschaffen war, etwa seit den letzten Versuchen mit Sauerstoff, Kunsteis.

Die Anordnung, die zur Messung des Widerstandes des Platindrahtes diente, war die in Figur 2 dargestellte. Der Hauptstromkreis enthielt ausser dem Platindraht, dessen Widerstand gemessen werden sollte, und der von einem Akkumulator gebildeten Stromquelle eine Wolffsche Widerstandseinheit (Form der Reichsanstalt), ein Präzisionsamperemeter von Siemens & Halske, dessen Angaben mehrmals mit einem Silbervoltameter geprüft wurden, einen Regulierwiderstand R und einen Viernapf-Kommutator K. Die Widerstandseinheit, die in einem Petroleumbade hing, war in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt geprüft; ihre übrigens sehr geringe Aenderung mit der Temperatur wurde berücksichtigt. Von den Elektroden des Platindrahtes aus führte eine Abzweigung durch die eine Rolle eines Differentialgalvanometers zu diesem hin. Die andere Abzweigung ging von der Widerstandseinheit Ω aus und enthielt ausser der anderen Rolle des Galvanometers noch einen Rheostaten Rh. Als Rheostat wurde derselbe Kurbelrheostat verwendet, der, von Herrn Prof. Dr. Dorn entworfen und geprüft, schon bei den vorhergehenden Untersuchungen über die Wärmeleitung von Gasen benutzt worden war. Das Galvanometer, ein Kugelpanzergalvanometer nach Du-Bois-Rubens, stand auf einer in die Wand eingemauerten Steinplatte und hatte eine Empfindlichkeit von 1 mm Skt. etwa $= 6 . 10^{-10}$ Amp. bei einem Skalenabstand von 2 m. Auch das Dreibein, auf dem das zu den Ablesungen der Ausschläge benutzte Fernrohr befestigt war, stand auf einer auf das Kellergewölbe aufgemauerten Steinplatte. Die beiden erwähnten Abzweigungen führten, bevor sie zum Galvanometer liefen, erst zu einem achtnapfigen Kommutator, der durch einfache Vertauschung seiner beiden

aus zwei parallelen bezw. gekreuzten Drähten bestehenden Bügel einen Austausch der Galvanometerhälften ermöglichte, wie aus derFigur leicht ersichtlich ist. Da wegen der unvermeidlichen Temperaturschwankungen im Zimmer die Widerstände der Galvanometerrollen sich fortwährend änderten, so wurde der Widerstand jeder Rolle vor und nach den vier zu einem Versuch gehörenden Beobachtungen am Hauptgalvanometer mit Hilfe der Wolffschen Messbrücke und eines zweiten einfachen Panzergalvanometers bestimmt und hieraus die Werte der Widerstände für die dazwischen liegenden Zeiten der eigentlichen Beobachtungen durch Interpolation berechnet. Bei den Beobachtungen mit Eis konnte im ungeheizten Zimmer eine ziemlich gute Konstanz der Temperatur und damit der Widerstände erzielt werden. Dagegen waren die Aenderungen der Widerstände bei den Beobachtungen mit siedendem Wasser ziemlich bedeutend, obgleich durch einen Abzug, unter dem das Bad sich befand, für möglichst rasche Entfernung der Wasserdämpfe aus dem Zimmer gesorgt war. Die Widerstände der Elektroden und Verbindungsdrähte wurden bei den Rechnungen berücksichtigt.

Die angewendete Stromstärke betrug bei der Messung von w_0 0,03 Amp. Bei den Wärmeleitungsversuchen selbst schwankte sie zwischen 0,4 und 0,7 Amp. Die dadurch im Platindraht erzeugte Temperaturerhöhung betrug bei Sauerstoff und Stickstoff zwischen 5 und 11 Grad C, bei Wasserstoff wegen der sehr viel grösseren Leitungsfähigkeit natürlich beträchtlich weniger.

V. Theoretisches.

Die Formel, die zur Berechnung des Wärmeleitungsvermögens k des Gases dient[1]), ist:

$$k = \frac{L}{u - u'} \cdot \frac{lg\, r - lg\, \varsigma}{2\, \pi\, l},$$

1) Ueber die Ableitung dieser Formel vgl. W. Schwarze, Inaug.-Diss. Halle 1902, S. 10.

worin L die nur durch Leitung übergeführte Wärmemenge,
r den inneren Radius der Glasröhre,
ϱ den Radius des Platindrahtes,
u die Temperatur desselben,
u' die Temperatur des Bades (genauer die der inneren Glaswand der Apparate),
l die Länge des Platindrahtes zwischen den Elektroden bedeutet.

Die Grösse L wird gefunden aus der Beziehung:

$$L = 0{,}239 \cdot i^2 \cdot w_u - S_u,$$

worin i die Stromstärke, w_u den aus den Beobachtungen gefundenen Widerstand des Platindrahtes, S_u den Wert der Strahlung für die Temperatur u bedeutet.

Für die Strahlungsbeobachtungen ist L gleich 0 zu setzen, woraus sich ergibt:

$$S_u = 0{,}239 \cdot i^2 \cdot w_u.$$

Die Temperatur u des Platindrahtes wurde aus dem gemessenen Widerstande w_u desselben mit Hilfe von Tabellen berechnet, in denen für verschiedene Temperaturen die Differenzen der zugehörigen mittelst des (unten angegebenen) Temperaturkoeffizienten berechneten Widerstände gegenüber denen bei 0^0 bezw. 100^0, die zur Berechnung gedient hatten, für beide Apparate zusammengestellt waren. Die Differenz $w_u - w_o$, wobei w_o und w_u möglichst hintereinander gemessen wurden, ergab dadurch sogleich die zugehörige Temperatur u; zur Kontrolle wurde dann für das aus der Tabelle gefundene u mittelst des Temperaturkoeffizienten der Wert von w_u aus dem nach den Beobachtungen dazu gehörigen w_o berechnet. (Für die Beobachtungen bei 100^0 wurde natürlich immer der gleiche Wert von w_0 bezw. der daraus berechnete von w_{100} zu Grunde gelegt.) Dieses Verfahren bot zugleich den Vorteil, dass auf diese Weise am einfachsten die scheinbare Veränderlichkeit von w_0 bei Anwendung von Kunsteis berücksichtigt werden konnte.

Ueber die Berechnung des Widerstandes des Platindrahtes seien noch einige Bemerkungen hinzugefügt, da die

frühere Art der Berechnung nach Eintreffen der neuen Rollen des Differentialgalvanometers [1]) nicht mehr angewendet werden konnte. Bis dahin war der Widerstand x des Platindrahtes [2]) aus Ω, dem Widerstande der Einheit und w_1 und w_2, den Widerständen der Galvanometerrollen, berechnet worden nach der Formel:

$$x = \Omega \cdot \frac{w_1}{w_2} \quad \text{bezw.} \quad x = \Omega \cdot \frac{w_2}{w_1},$$

wobei in dem im Nenner stehenden Widerstande der Widerstand des in diesem Zweige liegenden Rheostaten mit eingerechnet ist. Da bei jeder Lage der Bügel zwei Richtungen des Stromes im Hauptkreise möglich waren mit Hilfe des Kommutators K, so erhielt man vier Werte von x, aus denen der Mittelwert zur weiteren Berechnung verwendet wurde. Dieses Verfahren konnte jetzt nicht mehr eingeschlagen werden, da die neuen Galvanometerrollen zwei so verschiedene Multiplikatorfunktionen besassen, dass die für die beiden verschiedenen Lagen der Bügel erhaltenen Werte von x einen Unterschied von fast 5 % zeigten, während der entsprechende Unterschied bei den alten Rollen nur 0,4 % betrug.

Herr Prof. Dr. Dorn hatte die Freundlichkeit, mir eine Formel zu entwickeln, die es gestattet, unter Berücksichtigung der Verschiedenheit der beiden Multiplikatorfunktionen den Wert von x zu berechnen, und zwar ohne dass es nötig wäre, die Multiplikatorfunktionen selbst oder auch nur ihr Verhältnis zu bestimmen.

Bezeichnet man nämlich die Multiplikatorfunktion der Rolle I mit f_1 [2]), die der Rolle II mit f_2, die Stromstärken im Platindraht, in der Widerstandseinheit, in der Rolle I, in

---

1) Bei den alten war, vielleicht infolge Niederschlags der bei den Versuchen mit 100° vermehrten Feuchtigkeit im Zimmer, die Isolation mangelhaft geworden. Die vorliegenden Versuche wurden mit den neuen Rollen durchgeführt.

2, s. diese Arbeit Fig. 2.

der Rolle II und im Hauptkreis der Reihe nach mit i_1', i_2', i_1, i_2 und $\mathcal{J}$, so wird bei der ausgezogenen Lage der Bügel:

$$i_1 = \mathcal{J} \cdot \frac{x}{w_1 + x} \qquad i_2 = \mathcal{J} \cdot \frac{\Omega}{w_2' + \Omega} \qquad (w_2' = w_2 + Rh)$$

sein, worin x, Ω, w_1, w_2 dieselben Bedeutungen haben wie oben. Wenn keine Ablenkung des Galvanometers eintritt, stehen nun i_1 und i_2 in der durch die Gleichung:

$$f_1 \cdot i_1 = f_2 \cdot i_2$$

ausgedrückten Beziehung. Durch Verbindung dieser Gleichung mit den beiden obigen erhält man:

$$f_1 \cdot \frac{x}{w_1 + x} = f_2 \cdot \frac{\Omega}{w_2' + \Omega}.$$

Auf dieselbe Weise ergibt sich für die punktiert gezeichnete Lage der Bügel:

$$f_2 \cdot \frac{x}{w_2 + x} = f_1 \cdot \frac{\Omega}{w_1' + \Omega} \qquad (w_1' = w_1 + Rh).$$

Durch Multiplikation der beiden letzten Gleichungen miteinander erhält man:

$$\frac{x^2}{(w_1 + x)\,(w_2 + x)} = \frac{\Omega^2}{(w_1' + \Omega)\,(w_2' + \Omega)}.$$

In den im Nenner des linken Ausdrucks stehenden Klammern können wir nun, da w_1 und w_2 gegen x sehr gross sind [1]), für x einen Näherungswert setzen. Nach den ersten Versuchen kann man aus den verwendeten Stromstärken die Temperaturerhöhung des Platindrahtes soweit schätzen, dass man seinen Widerstand auf 2 Stellen hinter dem Komma genau angeben kann, sodass in Wirklichkeit, da man nur diese beiden Stellen für die Summen $w_1 + x$ und $w_2 + x$ braucht, die Formel:

$$x = \Omega \cdot \sqrt{\frac{(w_1 + x') \cdot (w_2 + x')}{(w_1' + \Omega) \cdot (w_2' + \Omega)}}$$

1) w_1 und w_2 sind rund gleich 2100, $x = 0{,}47$ bezw. 0,48 Ohm.

(x' Näherungwert von x) den zur weiteren Berechnung hinreichend genauen Wert von x und nicht nur einen roh angenäherten Wert gibt. Natürlich erhielt man auf diese Weise nur zwei Werte von x (entsprechend den beiden Lagen des Kommutators im Hauptkreise), aus denen das Mittel genommen wurde.

VI. Bestimmung des Temperaturkoeffizienten der Widerstandsänderung in den Platindrähten.

Um zu entscheiden, ob der Temperaturkoeffizient des alten Platindrahtes nach Einsetzen in den neuen Apparat noch derselbe wäre wie vordem, wurden verschiedene Messungen bei Zimmertemperatur, 50° und 100° ausgeführt; die Beobachtungen zeigten, dass die Werte von w_{tt} gegenüber den aus der Temperatur des Bades mit den früher von Schwarze[1]) bestimmten Temperaturkoeffizienten berechneten Werten zu klein ausfielen, und zwar nicht nur bei dem neuen, sondern auch bei dem erhalten gebliebenen Apparate. Die Abweichungen der beobachteten von den berechneten Werten, die jedenfalls in einer Aenderung der Drähte im Laufe der Zeit ihren Grund haben, entsprachen Temperaturdifferenzen bis zu 0,5° C.

Es wurde daher zu einer neuen Bestimmung des Temperaturkoeffizienten der Widerstandsänderung in den Platindrähten geschritten und dazu die zweite von Schwarze[1]) angegebene Methode benutzt. Nur wurden neben den Messungen bei 50° und 100° noch solche bei Zimmertemperatur ausgeführt, um den Temperaturkoeffizienten für die tieferen Temperaturen möglichst genau zu bekommen. Die Temperaturen um 50° wurden wieder durch Regulierung von Brennern erhalten und ebenso wie die um 18°, die man durch mehrere Stunden langes Stehenlassen des Bades im Zimmer erhielt, an zwei mit einem Normalthermometer verglichenen Thermometern abgelesen. In beiden Fällen wurde, um eine möglichst gleichmässige Temperatur zu erzielen, das Wasserbad von einer Wasserschnecke in Bewegung gehalten, die von einer kleinen

1) W. Schwarze, Inaug.-Diss. Halle 1902, S. 12.

Turbine getrieben wurde. Die Temperaturen des siedenden Wassers wurden an zwei Thermometern abgelesen, deren Siedepunkte, ebenso wie später bei den eigentlichen Wärmeleitungsversuchen, vor und nach den an demselben Tage stattfindenden Versuchen in der Cavendish-Röhre mit dem aus dem Barometerstande berechneten Siedepunkte des Wassers verglichen wurden.

Die Messungen ergaben folgende Werte von

$$\frac{w_u - w_0}{u \cdot w_0} = \alpha_u$$

	App. I.	App. II.
zwischen 0^0 u. 18^0	0,0020847	0,0020834
„ 0^0 u. 50^0	20759	20761
„ 0^0 u. 100^0	20645	20622

Da die Werte nahe übereinstimmen, so wurden die Mittelwerte: 0,0020841, 0,0020760 und 0,0020634 zur Berechnung genommen. Mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate ergibt sich hieraus der Temperaturkoeffizient der Widerstandsänderung in den Platindrähten:

$$\alpha_u = 0{,}0020886 - 0{,}000\,000\,25 \cdot u.$$

VII. Strahlungsversuche.

Die Werte der Strahlung mussten natürlich für den Apparat II neu bestimmt werden. Um eine Oxydation des Quecksilbers in den Ansatzröhren zu vermeiden, wurden die Apparate während des Auspumpens nur im Wasserbade auf 100^0 erhitzt[1]) und ein galvanischer Strom von ungefähr 1 Amp. durch die Drähte geschickt. Der vorgelegte Quecksilberabschluss in dem schon erwähnten Y-förmigen Rohr gestattete ein sehr hohes und dauerhaftes Vakuum zu erzielen. Während der Strahlungsversuche selbst wurde ausserdem die tiefste Biegung der Kundtschen Glasfeder, welche zwischen den Apparaten und der Pumpe sich befand, in ein Becherglas mit fester Kohlensäure gesteckt, um Quecksilberdämpfe zu

1) W. Schwarze, Inaug.-Diss. Halle 1902, S. 13.

kondensieren. Zur Kontrolle wurden auch mit Apparat I mehrere Strahlungsversuche gemacht, deren Ergebnisse mit denen von Schwarze hinreichend gute Uebereinstimmung zeigten. Von den folgenden beiden Tabellen enthält die erste die von Schwarze für Apparat I, die zweite die von mir für Apparat II bestimmten ausgestrahlten Wärmemengen S in Grammkalorien pro Sekunde nebst den dazu gehörigen Temperaturen.

Tabelle I. Apparat I.

$u' = 0^0$		$u' = 99{,}8^0$	
u	S in Grammkal. pro Sek.	u	S in Grammkal. pro Sek.
4,85°	0,0002955	103,72°	0,000676
7,89°	4868	109,55°	1469
12,28°	7590	116,11°	2410

Tabelle II. Apparat II.

$u' = 0^0$		$u' = 100{,}0^0$	
u	S in Grammkal. pro Sek.	u	S in Grammkal. pro Sek.
2,34°	0,0001126	104,19°	0,000500
5,33°	2815	108,50°	1107
7,61°	4101	114,35°	1815
11,85°	6736		

VIII. Darstellung des Sauerstoffs.

Bei der Darstellung und Analyse bezw. spektralanalytischen Untersuchung der Gase, die zu den folgenden Wärmeleitungsversuchen dienten, wurde ich in liebenswürdigster Weise von dem Assistenten Herrn Dr. Kleint unterstützt, dem ich dafür zu grossem Danke verpflichtet bin.

Hinsichtlich der Darstellung des Sauerstoffs hielten wir uns an die Angaben von Markowski[1]). In Figur 3 ist die

1) H. Markowski, Inaug.-Diss. Halle 1903, S. 12.

Anordnung dargestellt, die zur Entwickelung und Reinigung des Sauerstoffs und zu seiner Einführung in die Apparate diente. Das Voltameter V musste neu zusammengesetzt werden. Nachdem ein neues Tondiaphragma mehrere Stunden mit Salzsäure ausgelaugt, dann öfters in destilliertem Wasser gekocht und gut getrocknet worden war, wurde es mittelst Siegellacks zwischen die Schenkel des Voltameters eingekittet, die vorher sorgfältig mit Kalilauge, Salpetersäure, destilliertem Wasser, Alkohol und Aether gereinigt worden waren. Der eine Schenkel des Voltameters ist oben offen; in ihn wurde die eine der beiden vorher mit Salzsäure, Chromsäure und kochendem destilliertem Wasser behandelten Platin-Iridium-Elektroden hineingehängt. Der andere Schenkel endete oben in ein U-förmig gebogenes Rohr[1]), welches mit Quecksilber gefüllt und mit einem Kork und einer darum gelegten Siegellackkittung so verschlossen wurde, dass das Quecksilber unmittelbar bis an den Kork heranreichte. Durch Kittung, Kork und Quecksilber hindurch führte ein Draht, an dessen Ende die andere Platin-Iridium-Elektrode angelötet war. Dieser so geschlossene Schenkel des Voltameters trug an der Seite ein horizontales Ansatzrohr, das die Verbindung zwischen dem Voltameter und dem zum Reinigen und Trocknen des Gases dienenden Röhrensystem herstellte. An das Ansatzrohr schloss sich zunächst eine Glasspirale S, die sich in einem Becherglas mit kochendem Wasser befand und auf diese Weise zur Zerstörung des Ozons diente. Dann folgten zwei U-förmige Trockenrohre T_1 und T_2, von denen das erstere mit konzentrierter Schwefelsäure getränkte Bimssteinstücke enthielt, während das andere zur Hälfte mit Natronkalk, zur Hälfte mit Phosphorpentoxyd gefüllt war. Der Natronkalk war vorher, ebenso wie die zunächst mit Salzsäure ausgelaugten, dann in destilliertem Wasser gekochten Bimssteinstücke, gut ausgeglüht worden. An die Trockenrohre schloss sich ein T-Stück mit einem langen vertikalen Schenkel a, der unten

1) S. diese Arbeit Fig. 3.

in ein Becherglas mit Quecksilber tauchte, und den Hähnen *A* und *B*. Von hier aus führte die Leitung durch eine mit Kupferoxyd gefüllte Verbrennungsröhre *R* und ein weiteres Trockenrohr T_3 mit Natronkalk und Phosphorpentoxyd zu dem Quecksilberabschluss *Q* und von da zu den Apparaten. Zwischen der Trockenröhre T_3 und dem vor dem Y-förmigen Rohre befindlichen Hahne *C* war seitwärts noch eine Geisslerröhre *G* mit vorgelegtem kleinen Trockenrohr mit Phosphorpentoxyd und dem Hahn *D* angeschmolzen. Diese Geisslerröhre diente sowohl zur Prüfung des Vakuums während des Pumpens, als auch später zur spektralanalytischen Untersuchung von Stickstoff und Wasserstoff. Als Verbindungen zwischen dem Verbrennungsrohr und den an dasselbe angrenzenden Teilen dienten Bleirohre; die Kittungen *k* bestanden aus Siegellack mit darüber gelegter Klebwachsschicht.

In den offenen Schenkel des Voltameters wurde nun eine genügende Menge 10prozentiger Schwefelsäure [1] gefüllt und nach Schliessung des Hahnes *A* und Oeffnung der übrigen Hähne durch Auspumpen in dem geschlossenen Schenkel ein Vakuum erzeugt, in welches die Flüssigkeit durch das Tondiaphragma langsam eindrang. Nachdem die Elektrode in diesem Schenkel mehrere Zentimeter hoch mit Flüssigkeit bespült war, wurde Hahn *B* geschlossen und durch *a* trockene Luft eingelassen. Die Enden der Elektroden des Voltameters wurden darauf mit den Polen einer Akkumulatorenleitung verbunden, und zwar die Elektrode des geschlossenen Schenkels mit dem positiven Pole. Im Stromkreise lag ausserdem noch ein Amperemeter, ein Regulierwiderstand und ein Unterbrecher. Die angewendete Stromstärke betrug 2,2 bis 2,4 Amp.

Nachdem alle Hähne ausser *A* geöffnet worden waren, wurde durch Auspumpen die Luft möglichst aus dem ganzen System entfernt und hierauf *B* geschlossen. Dann wurde mit

---

1) 10 Volumenteile konzentrierter Schwefelsäure auf 90 Volumenteile destilliertes Wasser.

der Sauerstoffentwickelung in *V* begonnen und nach einiger Zeit *A* geöffnet, worauf das entwickelte Gas bei *a* unter Quecksilber austrat. Dies wurde mehrere Stunden lang fortgesetzt, bis man annehmen konnte, dass alle Luft aus dem System bis *B* verdrängt war. Inzwischen war, nachdem anfangs bis *B* scharf evakuiert worden war, mehrmals eine kleine Menge Gas durch *B* eingelassen und dann wieder abgepumpt worden, um auch diesen Teil des Systems gut mit dem Gas zu spülen. Schliesslich wurde bis *B* wieder scharf evakuiert und nach Schliessung von *A* die Sauerstoffentwicklung noch einige Minuten lang fortgesetzt, um durch den im geschlossenen Schenkel hierdurch erzeugten Ueberdruck ein etwaiges Uebertreten von mit Wasserstoff gesättigter Flüssigkeit aus dem offenen Schenkel zu verhindern.

Nachdem das System so über Nacht gestanden und das Vakuum sich unverändert gezeigt hatte (ein Beweis dafür, dass die Kittungen und Hähne dicht hielten), wurde von neuem mit der Gasentwicklung begonnen; das Gas liess man bei *a* austreten. Inzwischen wurde bei geschlossenem Hahn *D* die Verbrennungsröhre bis zum Glühen erhitzt und dabei fortwährend die dadurch entstehenden Gasmengen abgepumpt. Nachdem die beim Pumpen auftretenden Blasen sehr klein geworden waren (ganz konnten sie trotz achtstündigen Pumpens nicht zum Verschwinden gebracht werden), wurde das ganze System mehrmals mit Sauerstoff gespült und wieder leer gepumpt. Nach der letzten Spülung wurde bis zum Hahn *C* scharf evakuiert. Dann wurde bei geschlossenem Hahn *D* und offenem *A* und *B* Hahn *C* langsam geöffnet, bis das Quecksilber bei *a* ungefähr 10 cm gestiegen war. Dann wurde *C* geschlossen und gewartet, bis der Sauerstoff wieder bei *a* austrat. Hierauf wurde eine neue kleine Portion Sauerstoff durch *C* eingelassen und dies so oft wiederholt, bis Apparate und Pumpe bis zu einem Drucke von ungefähr 30 cm Quecksilber mit Sauerstoff gefüllt waren. Dann wurden alle Hähne geschlossen, die Gasentwicklung unterbrochen und der Quecksilberabschluss hergestellt.

Zum Zwecke einer Analyse wurde aus der Pumpe ein Teil des Gases durch Herausdrücken aus der umgebogenen Auslasskapillare der Pumpe entnommen und über Quecksilber aufgefangen. Die Analyse wurde nach den Angaben von Hempel [1]) mit pyrogallussaurem Kali vorgenommen und ergab einen nicht absorbierten Rest von $^1/_{10}$ % des untersuchten Volumens. Dieser Rest konnte jedoch nicht Wasserstoff sein; denn eine bei der letzten Spülung in die Geisslerröhre eingelassene Probe des Gases, die nach und nach wieder abgepumpt und währenddem durch ein Spektrometer betrachtet wurde, liess keinerlei Wasserstofflinien erkennen, dagegen Spuren von Kohlenwasserstoffen. Es kam aber in der Hauptsache darauf an, den Sauerstoff von Verunreinigungen durch Wasserstoff frei zu halten, und das war durch die Darstellung erreicht worden.

IX. Versuche mit Sauerstoff.

Durch Abpumpen wurde der Druck bis zu dem für die Anfangsbeobachtungen gewünschten Werte von etwas unter 100 mm Quecksilber verringert. Die folgenden Tabellen enthalten die Ergebnisse der mit Sauerstoff angestellten Versuche.

Es bedeutet:

p den Druck des Gases in mm Quecksilber,

$u-u'$ die Temperatur-Differenz zwischen Draht und Bad,

Q die im Draht entwickelte Wärmemenge,

S die durch Strahlung,

L die durch Leitung weggeführte Wärmemenge, wobei $L=Q-S$ ist und alle drei Grössen in Grammkalorien pro Sekunde gemessen sind,

$\frac{L}{u-u'}$ eine der Wärmeleitfähigkeit des Gases proportionale Grösse (vgl. S. 14).

---

1) Hempel, Gasanalytische Methoden. Braunschweig 1901. S. 133.

Tabelle III.

Apparat I. Sauerstoff.

p	Bad: 0°				
	$u - u'$	Q	S	L	$\frac{L}{u - u'}$
94,9	6,03°	0,01893	0,000370	0,01856	0,003078
—	8,68°	2730	536	2676	3083
—	10,96°	3438	677	3370	3075
73,9	6,52°	2051	401	2011	3084
—	9,35°	2933	577	2875	3075
63,2	6,57°	2060	404	2020	3074
—	9,28°	2929	573	2872	3095
—	10,89°	3431	673	3364	3089
52,5	6,60°	2071	406	2030	3076
—	9,34°	2945	577	2887	3092
35,0	6,63°	2083	408	2042	3080
—	9,31°	2929	574	2872	3085
—	10,98°	3456	679	3388	3086
14,2	6,54°	2057	402	2017	3084[1])
—	9,14°	2866	564	2810	3074
—	9,43°	2958	582	2900	3076
1,0	8,36°	2065	516	2013	2408
—	12,02°	2967	743	2893	2407

Tabelle IV.

Apparat I. Sauerstoff.

p	Bad: Siedendes Wasser.				
	$u - u'$	Q	S	L	$\frac{L}{u - u'}$
73,9	7,92°	0,03366	0,001228	0,03243	0,004095
—	5,28°	2231	0900	2141	4056
63,2	6,66°	2813	1028	2710	4069
—	8,59°	3654	1289	3525	4104
52,5	7,36°	3105	1124	2993	4067
—	10,52°	4432	1556	4276	4065
35,0	7,51°	3160	1143	3046	4056
—	10,21°	4302	1512	4151	4066
14,2	7,33°	3053	1127	2940	4012
—	10,22°	4270	1516	4118	4029

1) Von diesem Versuch an wurde mit Kunsteis gearbeitet.

Tabelle V.

Apparat II. Sauerstoff.

p	Bad: 0°				
	$u - u'$	Q	S	L	$\frac{L}{u - u'}$
94,9	5,34°	0,01888	0,000282	0,01860	0,003483
—	5,33°	1890	282	1862	3493
73,9	9,99°	3508	558	3452	3455
—	8,44°	2966	462	2920	3460
63,2	5,93°	2084	315	2052	3461
—	8,40°	2967	459	2921	3478
—	9,85°	3468	549	3413	3465
52,5	5,96°	2097	317	2065	3465
—	8,44°	2982	462	2936	3479
35,0	5,99°	2110	319	2078	3469
—	8,45°	2988	462	2942	3481
—	9,98°	3519	557	3463	3470
14,2	8,59°	3017	471	2970	3458[1])
1,0	7,93°	2102	430	2059	2597
—	11,30°	3001	639	2937	2599

Tabelle VI.

Apparat II. Sauerstoff.

p	Bad: Siedendes Wasser				
	$u - u'$	Q	S	L	$\frac{L}{u - u'}$
73,9	4,87°	0,02273	0,000594	0,02214	0,004546
—	6,14°	2881	768	2804	4566
—	6,07°	2852	764	2776	4573
—	7,31°	3431	940	3337	4565
63,2	6,13°	2881	768	2804	4574
52,5	6,73°	3140	858	3054	4538
—	9,15°	4300	1185	4181	4569
35,0	6,78°	3143	865	3057	4508
—	9,31°	4358	1204	4238	4552
14,2	6,83°	3162	877	3074	4501

1) Von diesem Versuch ab wurde mit Kunsteis gearbeitet. Vgl. denselben Druck bei App. I 0° Tab. III.

Die in der letzten Spalte dieser Tabellen stehenden Werte von $\frac{L}{u-u'}$ gelten nach Schleiermacher[1]) für die Temperatur $u' + \frac{1}{2}(u-u')$, d. h. für die zwischen der Temperatur des Drahtes und der des Bades in der Mitte liegende Temperatur. Bezeichnen wir den Temperaturkoeffizienten der Wärmeleitfähigkeit mit γ, so wird:

$$k_t = k_0 (1 + \gamma t),$$

wenn k_0 und k_t die Werte der Leitfähigkeit für 0^0 und t^0 bezeichnen. Da nach der oben[2]) abgeleiteten Formel k proportional $\frac{L}{u-u'}$ ist, so wird ebenso:

$$\left(\frac{L}{u-u'}\right)_t = \left(\frac{L}{u-u'}\right)_0 \cdot (1 + \gamma t).$$

Wir können also aus den obigen Werten von $\frac{L}{u-u'}$, deren jeder zu einer bestimmten Temperatur t gehört, zunächst den Temperaturkoeffizienten γ berechnen, indem wir je zwei entsprechende (für denselben Druck gefundene) Werte von $\frac{L}{u-u'}$ aus den Tabellen III und IV bezw. V und VI verbinden. Es ergibt sich, wenn wir mit t_2 diejenige Temperatur bezeichnen, für welche der aus einer der Tabellen IV und VI (siedendes Wasser) entnommene Wert von $\frac{L}{u-u'}$ gilt, und mit t_1 diejenige Temperatur, für welche der aus einer der Tabellen III und V (0^0) entnommene Wert von $\frac{L}{u-u'}$ gilt:

$$\gamma = \frac{M_{t_2} - M_{t_1}}{M_{t_1} \cdot t_2 - M_{t_2} \cdot t_1},$$

wo zur Abkürzung

---

1) Wied. Ann. 1888. Bd. 34, S. 623.

2) S. 14.

$$\left(\frac{L}{u-u'}\right)_{t_2} = M_{t_2}, \qquad \left(\frac{L}{u-u'}\right)_{t_1} = M_{t_1}$$

gesetzt ist.

Auf diese Weise wurde aus den in den obigen Tabellen enthaltenen Werten von $\frac{L}{u-u'}$ zunächst γ ausgerechnet, indem die für denselben Druck gemachten Beobachtungen als eine zusammengefasst wurden. Die Rechnung wurde für jeden der beiden Apparate gesondert durchgeführt und dann das Mittel genommen. So erhielt man einen Näherungswert von γ. Mit Hilfe dieses Wertes wurden dann die obigen Werte von $\frac{L}{u-u'}$ auf $\frac{L_0}{u-u'}$ bezw. $\frac{L_{100}}{u-u'}$ umgerechnet; durch Verbindung je zweier für denselben Apparat und denselben Druck geltenden Werte von $\frac{L_0}{u-u'}$ und $\frac{L_{100}}{u-u'}$ wurde hierauf γ nochmals einzeln ausgerechnet und der Mittelwert aller aus beiden Apparaten sich ergebenden Werte als wahrer Wert von γ angesehen. Die folgende Tabelle enthält die sich auf diese Weise ergebenden Werte von γ.

Tabelle VII.

Apparat I.		Apparat II.	
p	γ	p	γ
73,9	0,003285		
—	3295	73,9	0,003270
63,2	3295	63,2	3227
—	3319	52,5	3123
52,5	3240	—	3175
—	3192	35,0	3081
35,0	3211	—	3094
—	3235	14,2	3079
14,2	3113		
—	3127		
Mittel: 0,003231.		Mittel: 0,003150.	

Als Mittelwert aus beiden Apparaten ergibt sich der Temperaturkoeffizient der Wärmeleitung für Sauerstoff:

$$\gamma = 0{,}00319.$$

Die beiden folgenden Tabellen enthalten die mit Hilfe dieses Temperaturkoeffizienten aus den Werten $\frac{L}{u - u'}$ der Tabellen III—VI berechneten Werte von $\frac{L_0}{u - u'}$ und $\frac{L_{100}}{u - u'}$.

Tabelle VIII.

Apparat I. Sauerstoff.

p	$u - u'$	$\frac{L_0}{u - u'}$	p	$u - u'$	$\frac{L_{100}}{u - u'}$
94,9	6,03°	0,003049			
—	8,68°	3041			
—	10,96°	3022			
73,9	6,52°	3053	73,9	7,92°	0,004055
—	9,35°	3029	—	5,28°	4028
63,2	6,57°	3042	63,2	6,66°	4037
—	9,28°	3050	—	8,59°	4062
—	10,89°	3036			
52,5	6,60°	3044	52,5	7,36°	4033
—	9,34°	3046	—	10,52°	4016
35,0	6,63°	3048	35,0	7,51°	4017
—	9,31°	3040	—	10,21°	4014
—	10,98°	3033			
14,2	6,54°	3052	14,2	7,33°	3973
—	9,14°	3030	—	10,22°	3978
—	9,43°	3030			
1,0	8,36°	2376			
—	12,02°	2362			

Tabelle IX.

Apparat II. Sauerstoff.

p	$u - u'$	$\frac{L_0}{u - u'}$	p	$u - u'$	$\frac{L_{100}}{u - u'}$
94,9	5,34°	0,003454	73,9	4,87°	0,004517
—	5,33°	3464	—	6,14°	4531
—	9,99°	3401	—	6,07°	4540
73,9	8,44°	3414	—	7,31°	4525
63,2	5,93°	3429	63,2	6,13°	4540
—	8,40°	3432			
—	9,85°	3411			
52,5	5,96°	3432	52,5	6,73°	4504
—	8,44°	3432	—	9,15°	4522
35,0	5,99°	3437	35,0	6,78°	4468
—	8,45°	3435	—	9,31°	4500
—	9,98°	3416	14,2	6,83°	4461
14,2	8,59°	3411			
1,0	7,93°	2565			
—	11,30°	2553			

Aus den Tabellen geht hervor, dass die Werte für $\frac{L_0}{u - u'}$ bei sehr kleinen Drucken stark abnehmen. Es wurden deshalb zur Berechnung von k_0 nur die Werte benutzt, die in dem Druckintervall merklich konstanter Leitung lagen, also von Apparat I die Werte von $p = 94{,}9$ mm bis $p = 14{,}2$ mm, von Apparat II die Werte von $p = 73{,}9$ mm bis $p = 14{,}2$ mm.

Die hierdurch sich ergebenden Mittelwerte von $\frac{L_0}{u - u'}$ sind:

App. I.	App. II.
0,0030403	0,0034227.

Nach der oben [1]) angegebenen Formel findet man hieraus die Leitfähigkeiten für 0°:

App. I.: 0,000057924 App. II.: 0,000058072

1) S. 14.

und als Mittelwert aus beiden Apparaten die Wärmeleitfähigkeit des Sauerstoffs für 0^0:

$$k_0 = \mathbf{0{,}00005800 \pm 07}^{1}).$$

X. Reinigung des Stickstoffs.

Zu den folgenden Versuchen mit Stickstoff wurde ein Teil des seinerzeit von Markowski hergestellten benutzt. Bezüglich der Einzelheiten der Darstellung dieses chemisch reinen Stickstoffs verweise ich auf die Arbeit von Markowski [2]; nur soviel sei erwähnt, dass das Gas durch Erwärmen einer Mischung von Chlorammonium-, Kaliumbichromat- und Kaliumnitrit- Lösung gewonnen wurde. Da dieser Stickstoff jedoch schon längere Zeit unter Wasserabschluss in einem Zinkgasometer gestanden hatte, so musste eine sorgfältige Reinigung vorgenommen werden, bei der es vor allen Dingen darauf ankam, etwaige Beimengungen von Wasserstoff zu beseitigen, aus dem oben bei der Darstellung des Sauerstoffs schon angegebenen Grunde.

Die Reinigung wurde so bewerkstelligt, dass der Stickstoff mehrmals durch ein weiter unten beschriebenes Röhrensystem zwischen zwei Pipetten hin- und hergedrückt wurde. Um das Gas aus dem Gasometer in die Pipette zu füllen, diente die in Figur 4 dargestellte Anordnung. Von dem Gasometer mit dem Hahn G führte eine Leitung durch die beiden je zur Hälfte mit Phosphorpentoxyd, zur Hälfte mit Natronkalk gefüllten Trockenrohre T_1 und T_2 zu einem T- Stück. An dieses schloss sich einerseits nach einem weiteren Trockenrohr T_3 der Quecksilberabschluss Q und das mit ihm verbundene System der Pumpe mit den Apparaten und der Geisslerröhre, andererseits die Pipette P_1 mit dem Hahn A. Die Verbindungen bildeten Bleirohre und dickwandige Gummi-

1) Ueber die an diesem Werte noch anzubringenden Korrektionen s. unter XIV.

2) H. Markowski, Inaug.-Diss. Halle 1903.

schläuche. Nachdem das Quecksilber in der Pipette durch Heben der Birne bis zum Hahn *A* angestiegen war, wurde dieser Hahn geschlossen; *C* und *D* waren offen. Das ganze System wurde nun bis zu den Hähnen *A* und *G* gut evakuiert und hierauf *C* und *D* geschlossen. Nachdem die Birne der Pipette wieder gesenkt worden war, wurde Hahn *G* und *A* geöffnet und so die Pipette mit Stickstoff gefüllt. Als sich genügend Gas in der Pipette befand, wurden die Hähne *A* und *G* geschlossen und die Verbindungen gelöst.

In Figur 5 ist die zur Reinigung des Stickstoffs benutzte Anordnung dargestellt. Den hauptsächlichsten Bestandteil derselben bildet das aus zwei parallel und zwei kreuzweise verlaufenden Röhren bestehende Glaskreuz *K*. Jede der vier Röhren trägt einen Hahn. Diese Vorrichtung gestattet es, das Gas zwischen zwei Behältern hin- und herzudrücken, ohne dass dabei im mittleren Teile der Verbindung die Richtung des Gasstromes umgekehrt wird, wie aus den in der Figur angegebenen Pfeilen ersichtlich wird. Die eine parallele Röhre des Kreuzes war einerseits durch ein Natronkalk und Phosphorpentoxyd enthaltendes Trockenrohr T_1 mit der Pipette P_1 verbunden, andererseits durch ein ebensolches Trockenrohr T_2 mit der mit Kupferoxyd und Kupfer [1]) gefüllten Verbrennungsröhre *R*. Ein U-förmiges Trockenrohr *U*, das mit Schwefelsäure getränkte Bimssteinstücke enthielt, stellte die Verbindung mit der zweiten Röhre des Kreuzes her, an die sich auf der anderen Seite ein T-Stück anschloss. Dieses führte einerseits zu der zweiten Pipette P_2, andererseits zur Pumpe und zu den Apparaten mit den schon öfters erwähnten davor befindlichen Teilen [2]). Am T-Stück befand sich noch der Hahn *E*. Die Verbindungen zwischen den einzelnen Teilen des Systems wurden durch Bleirohre und Stücke von dickwandigem Gummischlauch hergestellt.

---

1) Das Kupfer war vor dem Einfüllen in die Verbrennungsröhre durch Wasserstoff reduziert worden.

2) S. Figur 5.

Zunächst wurden nun alle Hähne geöffnet mit Ausnahme der beiden die Pipetten abschliessenden *A* und *B*, nachdem vorher die Pipette P_2 bis zum Hahn *B* mit Quecksilber angefüllt worden war. Dann wurde das ganze System gut evakuiert und mehrere Stunden ausgepumpt stehen gelassen. Nachdem man sich dann durch Prüfung des Vakuums überzeugt hatte, dass alle Hähne und Verbindungen dicht hielten, wurde die Verbrennungsröhre *R* bis zum Glühen erhitzt und das hierbei sich bildende Gas abgepumpt. Dies wurde solange fortgesetzt, bis sich beim Pumpen keine Blasen mehr zeigten. Dann wurden die Hähne *D*, *C* und *E* und die Hähne 1 und 4 des Kreuzes geschlossen, während 2 und 3 offen blieben. Hierauf wurde der Hahn *A* der Pipette P_1 langsam und nur wenig geöffnet und durch Heben der Birne dieser Pipette das Gas langsam in die Pipette P_2 hinüber gedrückt, deren Hahn *B* inzwischen geöffnet worden war. Der Stickstoff ging hierbei, wie die Pfeile zeigen, erst über das glühende Kupfer, dann über das Kupferoxyd. Als alles Gas aus der Pipette P_1 verschwunden war, wurden die Hähne *A* und *B* geschlossen, ebenso die Hähne 2 und 3, wofür 1 und 4 geöffnet wurden. Jetzt wurde das Gas langsam wieder in die Pipette P_1 hinübergedrückt, wobei es in derselben Richtung wie vorher durch das Verbrennungsrohr hindurch geht. Nachdem der Stickstoff auf diese Weise viermal herüber- und hinübergedrückt worden war, wurden die Hähne der Pipetten geschlossen und *E* geöffnet. Von dem bei *E* eingedrungenen Stickstoff wurde durch Oeffnen von *C* und *D* eine Probe in die Geisslerröhre eingelassen und bei verschiedenen Drucken, die durch allmähliches Abpumpen erzielt wurden, spektroskopisch untersucht. Es zeigte sich nur das Bandenspektrum des Stickstoffs und Quecksilberlinien, die wegen der Verbindung der Geisslerröhre mit der Quecksilberluftpumpe unvermeidlich sind, jedenfalls keine Wasserstofflinien. Auch Sauerstoff konnte, wenn er wirklich vorher vorhanden war, dem Stickstoff nicht mehr beigemischt sein, denn er würde von dem glühenden Kupfer zurückgehalten worden sein. Es

wurden daher nunmehr die Hähne 2 und 3 des Kreuzes K und der Hahn A der Pipette P_1, welche das Gas zuletzt enthielt, geöffnet und der Stickstoff in die Apparate und die Pumpe eingelassen. Dann wurde C geschlossen und der Quecksilberabschluss hergestellt. Der Druck, bis zu dem Apparate und Pumpe mit dem Stickstoff gefüllt waren, betrug ungefähr 96 mm Quecksilber und wurde gleich als Druck für die ersten Versuche mit Stickstoff benutzt.

XI. Versuche mit Stickstoff.

In den folgenden Tabellen sind die Ergebnisse der Versuche mit Stickstoff zusammengestellt.

Die Bedeutung der Grössen ist dieselbe wie in den entsprechenden Tabellen für Sauerstoff. Auch die Berechnung von γ und k_0 wurde in derselben Weise wie dort ausgeführt.

Tabelle X.

Apparat I. Stickstoff.

p	Bad: 0°				
	$u - u'$	Q	S	L	$\frac{L}{u - u'}$
95,8	6,65°	0,02055	0,000409	0,02014	0,003029
—	9,55°	2970	590	2911	3048
74,7	6,70°	2066	412	2025	3022
—	9,44°	2929	583	2871	3042
—	11,08°	3439	685	3370	3042
49,6	6,80°	2098	418	2056	3023
—	6,54°	2012	402	1972	3015
—	9,28°	2869	573	2812	3031
—	11,20°	3464	692	3395	3031
24,9	6,39°	1966	392	1927	3016
—	9,33°	2877	576	2819	3022
—	10,98°	3403	678	3335	3038
5,0	6,59°	2014	405	1973	2994
—	9,47°	2899	584	2841	3000

Tabelle XI.

Apparat I. Stickstoff.

	Bad: Siedendes Wasser				
p	$u - u'$	Q	S	L	$\frac{L}{u \quad u'}$
74,7	7,79°	0,03180	0,001182	0,03062	0,003931
—	10,55°	4333	1562	4177	3959
49,6	7,80°	3183	1183	3065	3930
—	10,53°	4321	1558	4165	3956
38,3	7,35°	3012	1122	2900	3946
—	9,93°	4061	1473	3914	3942
24,9	7,37°	3037	1126	2924	3968
—	10,10°	4127	1500	3977	3938

Tabelle XII.

Apparat II. Stickstoff.

	Bad: 0°				
p	$u - u'$	Q	S	L	$\frac{L}{u - u'}$
95,8	6,10°	0,02128	0,000325	0,02095	0,003435
—	8,41°	2946	460	2900	3448
74,7	6,01°	2085	320	2053	3415
—	8,51°	2967	466	2921	3432
—	9,95°	3464	556	3408	3425
49,6	5,91°	2056	314	2025	3426
—	8,66°	3005	475	2958	3416
—	10,11°	3520	566	3463	3425
—	5,78°	2002	307	1971	3410
—	8,52°	2955	467	2908	3413
—	9,75°	3375	543	3321	3406
24,9	5,98°	2073	318	2041	3413
—	8,51°	2968	466	2921	3433
—	8,53°	2967	467	2920	3423
5,0	5,82°	1984	309	1953	3356
—	8,66°	2957	475	2910	3360

Tabelle XIII.

Apparat II. Stickstoff.

p	Bad: Siedendes Wasser.				
	$u - u'$	Q	S	L	$\frac{L}{u - u'}$
74,7	6,94°	0,03144	0,000887	0,03055	0,004403
—	9,61°	4377	1241	4253	4426
49,6	6,89°	3138	0880	3050	4427
49,6	9,56°	4379	1235	4256	4452
38,3	6,70°	3056	0853	2971	4435
24,9	6,70°	3028	0853	2943	4392
—	9,22°	4180	1193	4060	4404

Tabelle XIV.

Apparat I.		Apparat II.	
p	γ	p	γ
74,7	0,003015	74,7	0,002932
—	3035	—	2924
49,6	3049	49,6	3019
—	3061	—	2956
38,3	3086	38,3	3008
—	3070		
24,9	3133	24,9	2882
—	3061	—	2893
Mittel:	0,003064	Mittel:	0,002945

Temperaturkoeffizient der Wärmeleitung für Stickstoff:

$\gamma = 0{,}00301.$

Tabelle XV.

Apparat I. Stickstoff.

p	$u - u'$	$\frac{L_0}{u - u'}$	p	$u - u'$	$\frac{L_{100}}{u - u'}$
95,8	6,65°	0,002999			
—	9,55°	3005			
74,7	6,70°	2992	74,7	7,79°	0,003893
—	9,44°	2999	—	10,55°	3909
—	11,08°	2992			
49,6	6,80°	2993	49,6	7,80°	3896
—	6,54°	2985	—	10,53°	3908
—	9,28°	2989	38,3	7,35°	3911
—	11,20°	2981	—	9,93°	3896
24,9	6,39°	2987	24,9	7,37°	3933
—	9,33°	2980	—	10,10°	3892
—	10,98°	2995			
5,0	6,59°	2964			
—	9,47°	2958			

Tabelle XVI.

Apparat II. Stickstoff.

p	$u - u'$	$\frac{L_0}{u - u'}$	p	$u - u'$	$\frac{L_{100}}{u - u'}$
95,8	6,10°	0,003404			
—	8,41°	3405			
74,7	6,01°	3385	74,7	6,94°	0,004364
—	8,51°	3389	—	9,61°	4374
—	9,95°	3375			
49,6	5,91°	3396	49,6	6,89°	4392
—	8,66°	3371	—	9,56°	4399
—	10,11°	3373			
—	5,78°	3381	38,3	6,70°	4398
—	8,52°	3370			
—	9,75°	3357			
24,9	5,98°	3383	24,9	6,70°	4358
—	8,51°	3389	—	9,22°	4357
—	8,53°	3380			
5,0	5,82°	3327			
—	8,66°	3317			

Zur Berechnung von k_0 wurden bei Apparat I die Werte der Drucke von $p = 95{,}8$ mm bis $p = 24{,}9$ mm, bei Apparat II die Werte der Drucke von $p = 74{,}7$ mm bis $p = 24{,}9$ mm benutzt. Die Mittelwerte von $\frac{L_0 \cdot}{u - u'}$ sind:

App. I.	App. II.
0,0029913.	0,0033790.

Daraus ergeben sich die beiden Werte von k_0:

App. I. 0,000056989. App. II. 0,000057330.

Als Mittelwert aus beiden Apparaten erhält man demnach für die Wärmeleitfähigkeit des Stickstoffs bei 0°:

$$k_0 = \mathbf{0{,}00005716 \pm 17}\ ^{1}).$$

XII. Darstellung des Wasserstoffs.

Der Wasserstoff wurde, ebenso wie oben der Sauerstoff, auf elektrolytischem Wege gewonnen. Zu seiner Entwicklung diente der dort schon beschriebene Zersetzungsapparat; nur musste jetzt die Elektrode des geschlossenen Schenkels mit dem negativen Pole der Akkumulatorenleitung verbunden werden. An das horizontale Ansatzrohr des Voltameters schlossen sich die beiden, schon bei der Sauerstoff-Darstellung verwendeten U-Rohre [2]) T_1 und T_2 (das eine wurde mit neuen Bimssteinstücken gefüllt) und das T-Stück mit dem langen vertikalen Schenkel a und den Hähnen A und B. Dann folgte ein kräftiges Trockenrohr T_3, welches zur Hälfte mit Phosphorpentoxyd, zur Hälfte mit Natronkalk gefüllt war, und weiterhin das U-förmige Trockenrohr T_4 mit dem sich daran anschliessenden Y-förmigen Rohr, das zu den Apparaten und zur Pumpe führte, und die abgezweigte Geisslerröhre. Ein Verbrennungsrohr mit Kupfer, um etwaigen dem Wasserstoff beigemischten Sauerstoff zu entfernen, wurde nicht angewendet,

1) Ueber die an diesem Werte noch anzubringenden Korrektionen s. unter XIV.

2) S. Figur 6.

dafür jedoch sorgfältig darauf Bedacht genommen, eine solche Verunreinigung des Gases durch Sauerstoff von vornherein nach Möglichkeit zu vermeiden. So blieb das Voltameter in der Nacht vor der eigentlichen Wasserstoff-Darstellung, nachdem das System mehrmals mit Wasserstoff gespült und wieder leergepumpt worden war, unter Ueberdruck im geschlossenen Schenkel (bis *B*) stehen, wodurch ein Nachdringen von mit Sauerstoff gesättigter Flüssigkeit vermieden werden sollte. Auch wurde beim Füllen der Apparate mit dem Wasserstoff darauf gesehen, dass hierbei immer in dem Raume bis *B* Ueberdruck herrschte; erreicht wurde dies dadurch, dass durch kurzes Oeffnen von *B* immer nur kleine Mengen des Gases diesem Raume entnommen wurden. Die Füllung selbst wurde erst vorgenommen, nachdem mehrmals das ganze System mit Wasserstoff gespült worden war, während dabei stets Gas weiter entwickelt wurde und bei *a* unter Quecksilber austrat. Die spektroskopische Untersuchung der vor der Füllung in die Geisslerröhre eingelassenen Probe des Gases ergab nur das Vorhandensein von Wasserstoff- und Quecksilberlinien. Stickstoff zeigte sich nicht. Sauerstoff würde allerdings, wenn wirklich vorhanden, nicht sichtbar gewesen sein.

XIII. Versuche mit Wasserstoff.

Die Versuche mit Wasserstoff wurden ebenso wie die mit den beiden vorher untersuchten Gasen ausgeführt. Nur mussten hier viel kleinere Temperaturerhöhungen angewendet werden als dort, da sonst, wie Anfangsversuche zeigten, ein stationärer Zustand auch nach viel längerer Zeit (bei Sauerstoff und Stickstoff wurde der stationäre Zustand nach ungefähr 15 Minuten erreicht) nicht eintrat.

In den folgenden Tabellen sind die Ergebnisse der Versuche mit Wasserstoff zusammengestellt. Bedeutung der Grössen und Berechnung von γ und k_0 sind dieselben wie bei Sauerstoff und Stickstoff.

Tabelle XVII.

Apparat I. Wasserstoff.

p	Bad: 0°				
	$u - u'$	Q	S	L	$\frac{L}{u - u'}$
74,6	1,34°	0,02825	0,000082	0,02817	0,02102
—	1,82°	3803	111	3792	2083
54,4	1,41°	2925	086	2916	2069
—	1,96°	4061	119	4049	2066
33,7	1,39°	2835	085	2827	2034
—	1,98°	4050	121	4038	2039
27,6	1,39°	2835	085	2827	2034
—	2,01°	4080	123	4068	2024
21,9	1,41°	2863	086	2854	2024
—	2,04°	4105	124	4093	2006
17,3	2,08°	4095	127	4082	1962

Tabelle XVIII.

Apparat I. Wasserstoff.

p	Bad: Siedendes Wasser				
	$u - u'$	Q	S	L	$\frac{L}{u - u'}$
54,4	1,66°	0,04432	0,000276	0,04404	0,02653
—	1,90°	5073	336	5039	2652
33,7	1,80°	4735	304	4705	2614
—	2,01°	5320	336	5286	2630
27,6	1,97°	5217	328	5184	2631
—	1,86°	4888	324	4855	2611

Tabelle XIX.

Apparat II. Wasserstoff.

p	Bad: 0°				
	$u - u'$	Q	S	L	$\frac{L}{u - u'}$
74,6	1,23°	0,02874	0,000059	0,02868	0,02332
—	1,66°	3886	080	3878	2336
54,4	1,29°	2972	062	2966	2299
—	1,80°	4136	086	4128	2293
33,7	1,29°	2917	062	2911	2256
—	1,83°	4124	088	4115	2249
27,6	1,27°	2862	061	2856	2248
—	1,84°	4144	088	4135	2247
21,9	1,36°	2949	065	2943	2164
—	1,89°	4070	091	4061	2148

Tabelle XX.

Apparat II. Wasserstoff.

p	Bad: Siedendes Wasser				
	$u - u'$	Q	S	L	$\frac{L}{u - u'}$
54,4	1,63°	0,04799	0,000198	0,04779	0,02932
33,7	1,66°	4792	202	4772	2875
—	1,84°	5333	223	5311	2886
27,6	1,78°	5133	217	5111	2871
—	1,80°	5145	220	5123	2846

Tabelle XXI.

Apparat I.		Apparat II.	
p	γ	p	γ
54,4	0,002854	54,4	0,002754
—	2830		
33,7	2844	33,7	2779
—	2895	—	2772
27,6	2926	27,6	2657
—	2894	—	2754
Mittel:	0,002874	Mittel:	0,002744.

Als Temperaturkoeffizient der Wärmeleitung des Wasserstoffs ergibt sich:

$$\gamma = 0{,}00281.$$

Tabelle XXII.

Apparat I. Wasserstoff.

p	$\frac{L_0}{u-u'}$	$\frac{L_0}{u-u'}$ (korr.)	p	$\frac{L_{100}}{u-u'}$
74,6	0,020979	0,020987		
—	20780	20788		
54,4	20649	20661	54,4	0,02648
—	20601	20613	—	2649
33,7	20295	20314	33,7	2607
—	20338	20357	—	2623
27,6	20296	20320	27,6	2624
—	20184	20208	—	2603
21,9	20203	20232		
—	20008	20037		
17,3	19571			

Tabelle XXIII.

Apparat II. Wasserstoff.

p	$\frac{L_0}{u-u'}$	$\frac{L_0}{u-u'}$ (korr.)	p	$\frac{L_{100}}{u-u'}$
74,6	0,023277	0,023292		
—	23306	23321		
54,4	22950	22970	54,4	0,02927
—	22872	22892		
33,7	22525	22557	33,7	2866
—	22430	22462	—	2877
27,6	22444	22483	27,6	2837
—	22414	22453	—	2862
21,9	21596			
—	21429			

Die 3. Kolumne der beiden letzten Tabellen, die die Bezeichnung $\frac{L_0}{u - u'}$ (korr.) trägt, enthält die Werte von $\frac{L_0}{u - u'}$, welche mit den vom „Temperatursprung“ herrührenden Korrektionen [1]) versehen sind. Diese Korrektionen sind bei Wasserstoff nicht unbedeutend, und da sie vom Drucke abhängen, wurden sie an den Werten der einzelnen Drucke gesondert angebracht.

Werden jetzt vom Apparat I die Werte der Drucke von $p = 54{,}4$ mm bis $p = 21{,}9$ mm und von Apparat II die Werte der Drucke von $p = 54{,}4$ mm bis $p = 27{,}6$ mm benutzt, und zwar die Werte der 3. Kolumne, so ergeben sich als Mittelwerte:

App. I.	App. II.
0,020330.	0,022636.

Daraus folgen für k_0 die beiden Werte:

App. I. 0,00038732. App. II. 0,00038406.

Die Wärmeleitfähigkeit für Wasserstoff bei 0^0 ergibt sich demnach:

$$k_0 = \mathbf{0{,}0003857 \pm 16.}$$

XIV. Korrektionen.

Es ist nun noch zu untersuchen, ob die vorhandenen Fehlerquellen einen Einfluss auf das Resultat haben und wie gross die aus diesem Grunde etwa anzubringenden Korrektionen sind.

Als Fehlerquellen kommen in Betracht: die durch die dünnen Elektroden und durch die Enden des stromdurchflossenen Drahtes weggeführte Wärmemenge, der Temperatursprung an der Glaswand und die schlechte Wärmeleitung des Glases.

Die Ableitung durch die dünnen Elektroden wurde in der von Schwarze angegebenen Weise [2]) für die einzelnen

1) S. S. 44.

2) W. Schwarze, Inaug.-Diss. Halle 1902, S. 28.

Gase berechnet; sie bedingt bei Sauerstoff und Stickstoff eine Verkleinerung von k_0 um $^1/_{210}$, bei Wasserstoff eine solche um $^1/_{700}$.

Die Ableitung durch die Enden am Hauptdraht ist bei allen drei Gasen so gering, dass sie vernachlässigt werden kann.

Die Wirkung des Temperatursprungs an der Glaswand kommt nach Gehrcke[1]) einer Vergrösserung der Dicke der wärmeleitenden Gasschicht gleich. Diese Vergrösserung, die sich leicht nach der von Gehrcke angegebenen Formel aus der mittleren molekularen Weglänge berechnen lässt, ist der letzteren Grösse direkt und daher dem Drucke umgekehrt proportional.

Der Temperatursprung hatte bei Sauerstoff und Stickstoff keinen nennenswerten Einfluss auf das Endergebnis; die bei Wasserstoff dadurch entstehenden Korrektionen sind schon an den Werten der einzelnen Drucke angebracht.

Die schlechte Wärmeleitung des Glases hat eine Temperaturerhöhung der inneren Glaswand der Röhre gegenüber der Temperatur des Bades zur Folge. Für k_0 macht diese eine Vergrösserung aus, die bei Sauerstoff und Stickstoff $^1/_{1000}$, bei Wasserstoff $^1/_{200}$ beträgt.

Nach Anbringung der angegebenen Korrektionen werden die Wärmeleitfähigkeiten bei 0^0:

für Sauerstoff $k_0 = \mathbf{0{,}0000577_8}$
für Stickstoff $k_0 = \mathbf{0{,}0000569_4}$
für Wasserstoff $k_0 = \mathbf{0{,}000387_1}$

Die von Winkelmann 1875 gefundenen Werte der Wärmeleitfähigkeiten für Sauerstoff und Stickstoff[2]) sind 0,0000563 und 0,0000524, wobei allerdings bemerkt werden muss, dass der später (1891) von Winkelmann bestimmte Wert[3]) von k_0 für Luft (0,0000555) von dem 1875 gefundenen

1) Gehrcke, Wärmeleitung verdünnter Gase. Drud. Ann. 2. 1900. S. 102.

2) Pogg. Ann. 1875. Bd. 156, S. 497.

3) Wied. Ann. 1891. Bd. 44, S. 429.

(0,0000525) ziemlich abweicht. Für Luft findet Schwarze[1]) $k_0 = 0{,}00005690$, womit der hier für Stickstoff erhaltene Wert gut übereinstimmt.

Die Wärmeleitfähigkeit des Wasserstoffs bei 0^0 ist nach Winkelmann[2]) 0,0003829, nach Schleiermacher[3]) 0,000410. Der hier gefundene Wert liegt zwischen beiden, jedoch beteutend näher an dem von Winkelmann.

XV. Vergleichung der Ergebnisse mit der Theorie.

In der Einleitung ist gezeigt worden, dass den Tatsachen am nächsten wohl die von Boltzmann unter Zugrundelegung des Maxwellschen Gesetzes aufgestellte Formel kommen dürfte, nach welcher der Faktor f[4]) nicht einen für alle Gase konstanten Wert besitzt, sondern von der Natur des Gases abhängt. Dort war jedoch auch schon angedeutet worden, dass die aus den Beobachtungen berechneten absoluten Werte von f mit den theoretisch berechneten für mehratomige Gase nicht übereinstimmen. Auch die vorliegenden Untersuchungen über die zweiatomigen Gase Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff ergeben Werte von f, die von den theoretisch berechneten beträchtlich abweichen.

Zur Berechnung von f aus der Gleichung:

$$k_0 = f \cdot c_v \cdot \eta_0 = f \cdot \frac{c_p}{\Gamma} \cdot \eta_0$$

wurden die Werte:

	Sauerstoff	Stickstoff	Wasserstoff
c_p	0,2175	0,2438	3,3996
Γ	1,3962	1,4015	1,4084
$\eta_0 \, 10^7$	1931	1671	841

1) W. Schwarze, Inaug.-Diss. Halle 1902, S. 29.
2) Wied. Ann. 1891. Bd. 44, S. 429.
3 Wied. Ann. 1888. Bd. 34. S. 623.
4) S. S 6.

genommen. Die Werte von c_p sind die von Regnault gefundenen. Für $\Gamma = \frac{c_p}{c_v}$ wurden die von Lummer und Pringsheim bestimmten Werte genommen. Die Reibungskoeffizienten sind der Arbeit von Kleint[1]) entnommen, der an den von Markowski[2]) bestimmten Werten noch eine kleine Korrektion angebracht hat. Verbindet man mit den in der Tabelle angegebenen Werten die oben stehenden Wärmeleitfähigkeiten bei 0°, so ergibt sich der Faktor f für

Sauerstoff	Stickstoff	Wasserstoff
1,921	1,959	1,907
1,486	1,506	1,532.

Die zweite Horizontalreihe enthält die nach der theoretischen Formel $f = \frac{15}{4}(\Gamma - 1)$ berechneten Werte.

So liefert keine der bisher in Bezug auf die Beteiligung der intramolekularen Energie an der Wärmeleitung aufgestellten Theorien Ergebnisse, die für mehratomige Gase mit der Erfahrung in Einklang zu bringen wären. Vielleicht führt in dieser Hinsicht noch einmal eine Theorie zum Ziel, die der intramolekularen Energie einen gewissen Anteil an der Wärmeleitung zuschreibt[3]), aber einen viel geringeren als die in der Einleitung erwähnte zu einer Konstanz des Faktors f führende Theorie.

---

1) F. Kleint, Inaug.-Diss. Halle 1904.

2) H. Markowski, Inaug.-Diss. Halle 1903.

3) Ein Versuch Boltzmanns hierzu findet sich in Pogg. Ann. 1876, Bd. 157, S. 457. Indem Boltzmann die intramolekulare und die progressive Energie im Verhältnis 3 : 13 an dem Vorgange der Wärmeleitung teilnehmen lässt, gelangt er zu Formeln, die für die Gase Stickstoff, Sauerstoff und Wasserstoff die Werte 1,736, 1,720, 1,756 von f liefern.

Zum Schlusse ist es mir eine angenehme Pflicht, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. Dorn für die freundliche Anregung zu dieser Arbeit und für die liebenswürdige Unterstützung bei ihrer Ausführung meinen ergebensten Dank auszusprechen.

Lebenslauf.

Geboren bin ich, Paul Emil Günther, am 29. Dezember 1881 zu Halle a. S. als einziger Sohn des Gastwirts Emil Günther (†) und seiner Frau Minna geb. Pfützner. Ich bin evangelischer Konfession und sächsischer Staatsangehörigkeit. Meine Schulbildung genoss ich in den Franckeschen Stiftungen zu Halle a. S., wo ich zunächst 3 Jahre die Vorschule und von Ostern 1891 ab die Oberrealschule besuchte. Ostern 1900 ging ich von dieser Anstalt mit dem Zeugnis der Reife ab und liess mich, um Mathematik und Physik zu studieren, an der Universität meiner Vaterstadt immatrikulieren, der ich zur Zeit noch als akademischer Bürger angehöre. Im Laufe meines Studiums hörte ich die Herren Professoren und Dozenten:

Brandes, Buchholz, Cantor, Dorn, Droysen, Fries, Grassmann, Haym (†), Nachtweh, Neumann, Riehl, Schultze, Schwarz, Vaihinger, Valentiner, Volhard, Wangerin, Wüst.

Allen diesen meinen verehrten Lehrern, besonders aber Herrn Prof. Dr. Dorn, sage ich meinen verbindlichsten Dank.

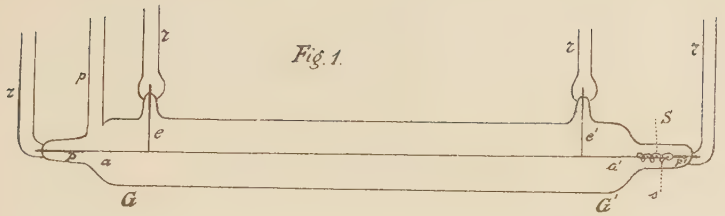

Fig. 1.

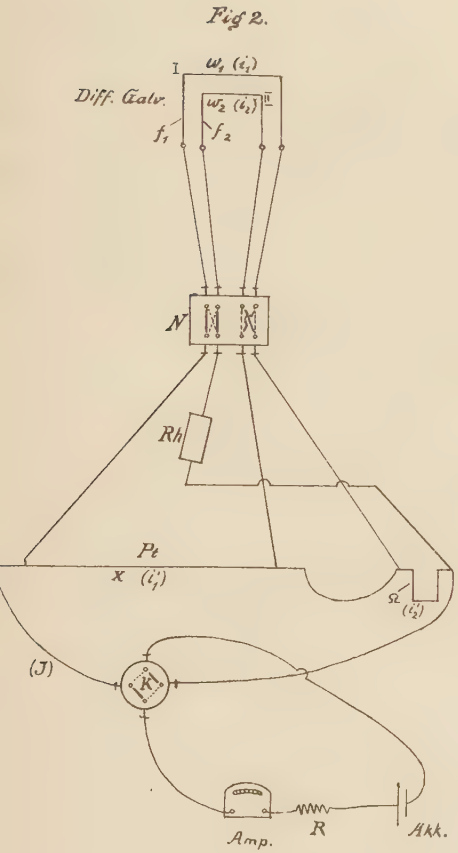

Fig 2.

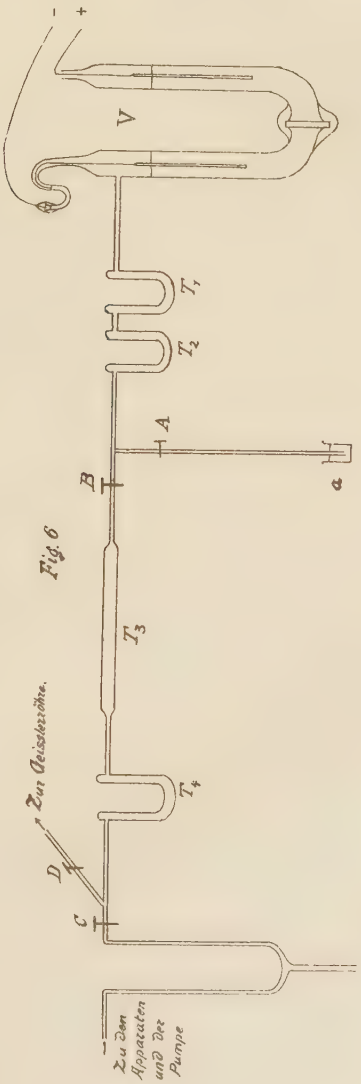

Fig. 6

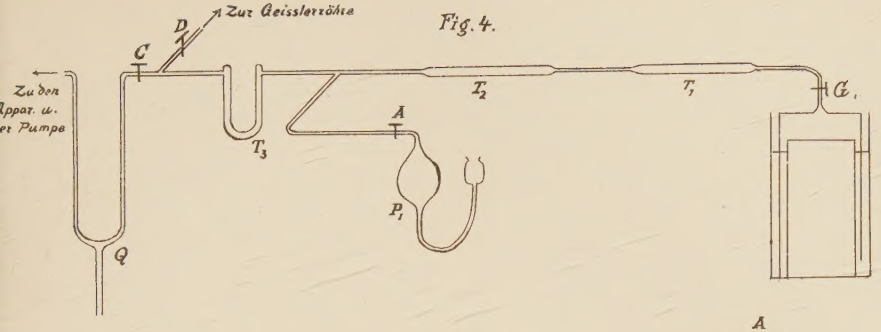
Fig. 4.
Zur Geissleröhre
D
C
Zu den Appar. u. der Pumpe
T_2
T_1
G
A
T_3
P_1
Q

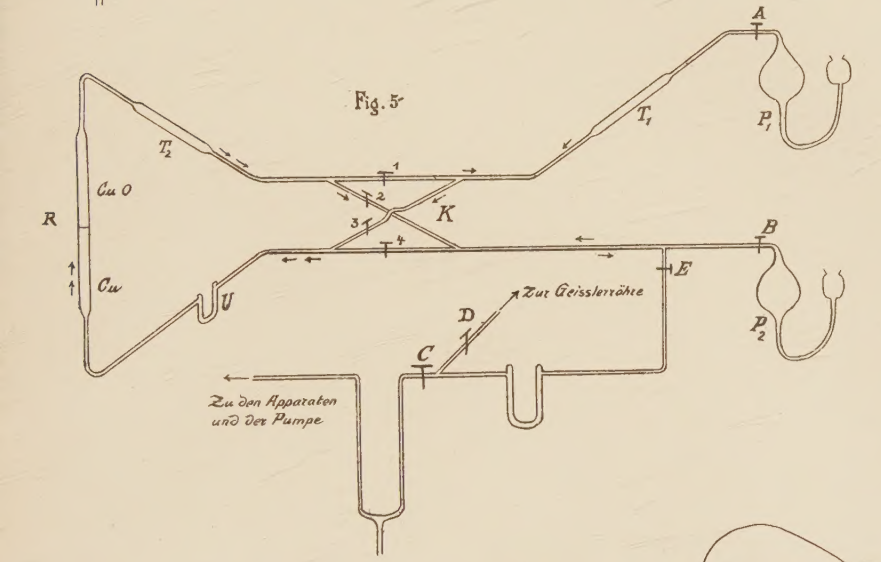
Fig. 5.
A
T_1
P_1
T_2
1
2
3
4
K
R
Cu O
Cu
U
B
E
Zur Geissleröhre
D
P_2
C
Zu den Apparaten und der Pumpe

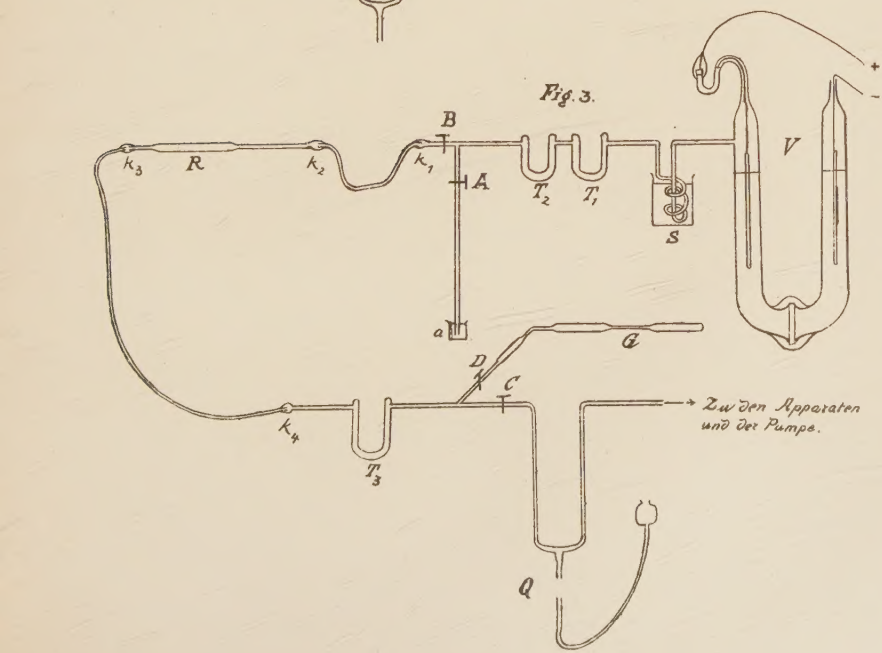
Fig. 3.
+
−
B
V
k_3
R
k_2
k_1
A
T_2
T_1
S
a
G
D
C
Zu den Apparaten und der Pumpe.
k_4
T_3
Q